



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ
МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ
METAL CONSTRUCTIONS

2011, ТОМ 17, НОМЕР, 115–122

УДК 624.97

(11)-0237-1

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ДИМАРІВ З ЖОРСТКИМИ ПІДКОСАМИ

В. В. Губанов, О. В. Голіков

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.*

E-mail: alexandr_golikov@mail.ru

Отримана 5 квітня 2011; прийнята 22 квітня 2011.

Анотація. Виконана класифікація конструктивних рішень підкосів для підкріплення стовбурів димарів. Приведені результати чисельних досліджень НДС димарів з різними типами підкосів. Визначені межі застосування кожного з вивчених конструктивних рішень підкосів. Досліджений вплив геометрії підкосів на НДС комбінованої системи «димар – жорсткі підкоси» в цілому – визначений вплив висоти підкосів і кута нахилу підкосів на деформативність системи. Досліджений вплив типу вузла сполучення стовбура димаря з конструкцією підкошувань на НДС системи в цілому. Відмічена необхідність урахування температурних деформацій при розробці конструктивних рішень опорного вузла.

Ключові слова: димарі, стовбур, підкоси, опорний вузол, сполучення, напружено-деформований стан, конструктивні рішення, несуча здатність, деформативність.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ЖЕСТКИМИ ПОДКОСАМИ

В. В. Губанов, А. В. Голиков

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.*

E-mail: alexandr_golikov@mail.ru

Получена 5 апреля 2011; принята 22 апреля 2011.

Аннотация. Выполнена классификация конструктивных решений подкосов для подкрепления стволов дымовых труб. Приведены результаты численных исследований НДС дымовых труб с различными типами подкосов. Определены границы применимости каждого из изученных конструктивных решений подкосов. Исследовано влияние геометрии подкосов на НДС комбинированной системы «дымовая труба – жесткие подкосы» в целом – определено влияние высоты подкосов и угла наклона подкосов на деформативность системы. Исследовано влияние типа узла сопряжения ствола дымовой трубы с конструкцией подкосов на НДС системы в целом. Отмечена необходимость учета температурных деформаций при разработке конструктивных решений опорного узла.

Ключевые слова: дымовые трубы, ствол, подкосы, опорный узел, сопряжение, напряженно-деформированное состояние, конструктивные решения, несущая способность, деформативность.

SPECIFICS OF DESIGNING CHIMNEYS WITH RIGID BRACES

Gubanov Vadim, Golikov Alexander

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makiievka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

E-mail: alexandr_golikov@mail.ru

Received 5 April 2011; accepted 22 April 2011.

Abstract. The constructive decisions as to the braces for chimney shafts to be fastened have been classified. There are presented the results of the numerical calculations of chimneys with different types of braces. There were determined the application limits for each constructive decision of braces examined. The influence of the brace geometry on the NDS of the combined system «chimney – rigid braces» was studied in general, the influence of the brace height and the brace gradient angle on the system deformability was determined. There was studied the influence of the type of the joint of mating a chimney shaft and the brace design on the NDS of the system in the large. A necessity of taking into account temperature deformations in the development of the constructive decisions of the carrying unit was highlighted.

Keywords: chimneys, shaft, braces, carrying unit, mating, mode of deformation, constructive decisions, load-carrying capability, deformability.

Формулировка проблемы

В практике проектирования металлических дымовых труб широкое распространение получили дымовые трубы свободностоящие, раскрепленные оттяжками и трубы в решетчатом каркасе. К отдельному классу относятся дымовые трубы, поддерживаемые жесткими подкосами, которые в силу недостаточной изученности их работы не получили широкого применения.

Требования последних лет о минимальных запасах несущей способности вновь проектируемых и подлежащих реконструкции объектов промышленной и гражданской архитектуры требует четкого профессионального знания реальной работы этих объектов и, соответственно, знаний об их действительном напряженно-деформированном состоянии.

Анализ последних исследований и публикаций

В отечественной нормативной литературе по расчету и конструированию дымовых труб отмечается необходимость использования жестких подкосов для раскрепления дымовых труб [1]. В проанализированной литературе отсутствуют описание совместной работы данной комбина-

рованной системы, отсутствует информация о принципах компоновки и типах архитектурных форм данного сооружения, а также информация о методах расчета системы в целом и ее отдельных конструктивных элементов.

Цель исследования

Разработать новые и усовершенствовать существующие конструктивные решения и инженерные методы расчета комбинированной системы «дымовая труба – жесткие подкосы».

Задачи работы:

1. Выполнить анализ существующих конструктивных решений и методов расчета дымовых труб с жесткими подкосами.
2. Выполнить численные исследования работы дымовых труб с различными конструктивными решениями подкосов.
3. Установить влияние геометрии подкосов на НДС системы «дымовая труба – жесткие подкосы» в целом.
4. Установить границы применимости дымовых труб с жесткими подкосами.

Основной материал

По положению в пространстве металлические дымовые трубы бывают свободностоящими и подкрепленными оттяжками, в решетчатом каркасе и поддерживаемые жесткими подкосами.

Дымовые трубы, подкрепленные жесткими подкосами, относятся к комбинированным конструкциям [3].

Особенности выбора конструктивных решений

При разработке конструктивных форм жестких подкосов необходимо было учесть следующие особенности работы стволов дымовых труб:

- изменение температуры нагрева оболочки от -25 до $+350$ градусов, что неизбежно влечет за собой удлинение либо укорочение оболочки как в продольном, так и в поперечном направлениях;
- высота консольной части ствола не может превышать 15 диаметров для труб, не обустроенных гасителями колебаний и 18 диаметров при обустройстве гасителями колебаний [1].

На основании анализа существующих конструктивных форм высотных сооружений были предложены следующие виды конструктивных решений подкосов для раскрепления дымовых труб:

- подкосы в виде сплошных продольных ребер переменного по высоте сечения (см. рис. 1а);
- подкосы в виде отдельных стержней сплошного сечения, непосредственно закрепленные на оболочке;
- подкосы в виде системы прямолинейных стержней, объединенных в жесткую раму (см. рис. 1б);
- подкосы в виде системы изогнутых стержней, объединенных в жесткую раму (см. рис. 1в, 1г);
- подкосы в виде системы плоских ферм (см. рис. 2а);
- подкосы в виде отдельных пространственных ферм, связанных между собой в горизонтальной плоскости (см. рис. 2б);
- подкосы в виде решетчатых башен ограниченной высоты (см. рис. 2в).

Повиду сечения элементов были рассмотрены подкосы сплошного сечения, подкосы сквозного сечения, подкосы в виде комбинированных систем.

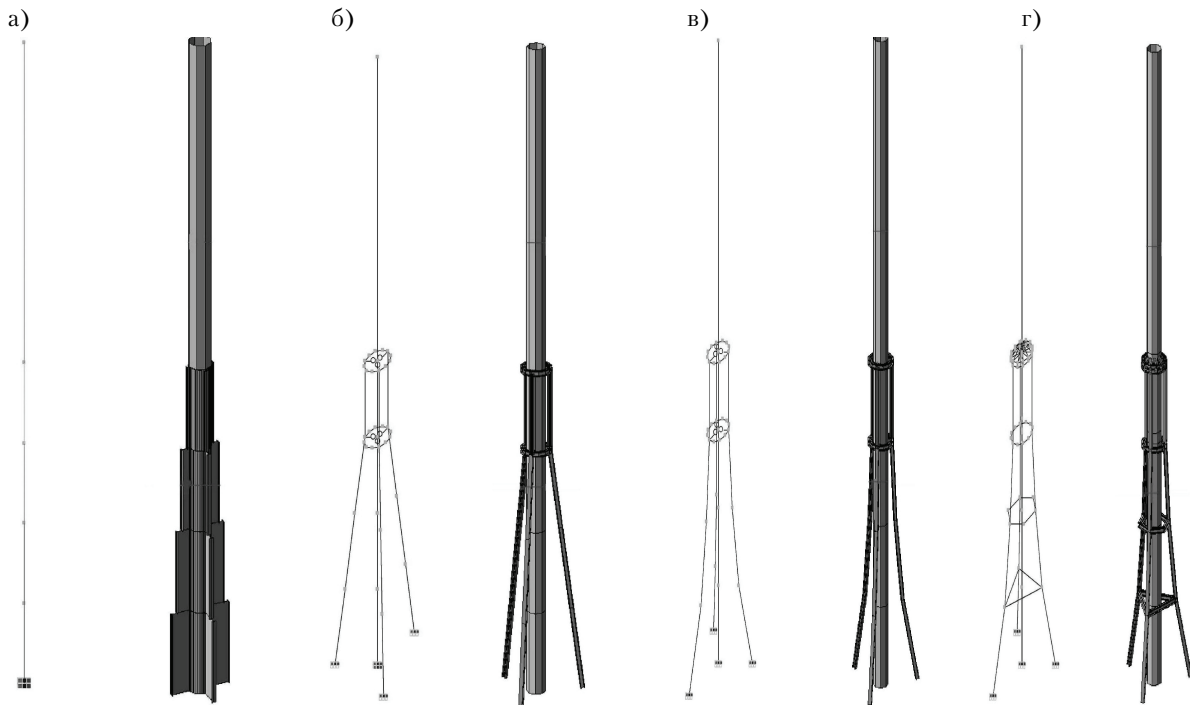


Рисунок 1. Виды конструктивных решений комбинированной системы (простые системы).

В работе рассмотрена работа комбинированной система «ствол трубы – поддерживающие подкосы» при следующих типах сопряжения ствола с опорной конструкцией подкосов:

- жесткое опирание ствола на конструкцию подкосов;
- шарнирное опирание ствола на конструкцию подкосов;
- передача нагрузки от ствола на подкосы только в горизонтальной плоскости, обеспечивающая свободу деформаций ствола по вертикали – либо вертикальный ползун, либо шарнирно-подвижное примыкание ствола.

При применении каждого конкретного конструктивного решения необходимо учитывать изменение деформаций ствола при нагреве-охлаждении. При жестком опирании ствола необходимо предусматривать температурный компенсатор.

Характеристика видов конструктивных решений дымовых труб с жесткими подкосами и особенности их применения

Каждый из приведенных конструктивных решений обладает рядом достоинств и недостат-

ков и может быть применен в конкретных условиях.

1. Сплошные продольные ребра переменного сечения.

Данное конструктивное решение может быть применено при сравнительно небольших высотах труб, как правило, до 30 м. Это связано с трудностями монтажа большегабаритных элементов продольных ребер и необходимостью устройства протяженных монтажных швов.

2. Стержневые рамы с прямыми подкосами.

Данное конструктивное решение применимо в двух вариантах – при шарнирном и при жестком сопряжении ствола с подкосами.

3. Конструктивное решение при шарнирном опирании ствола – передача только горизонтальной нагрузки – обладает следующими особенностями:

- применимо при ограниченных углах наклона подкосов к вертикали, что связано с необходимостью устройства общего фундамента под ствол и подкосов для обеспечения совместности деформаций;

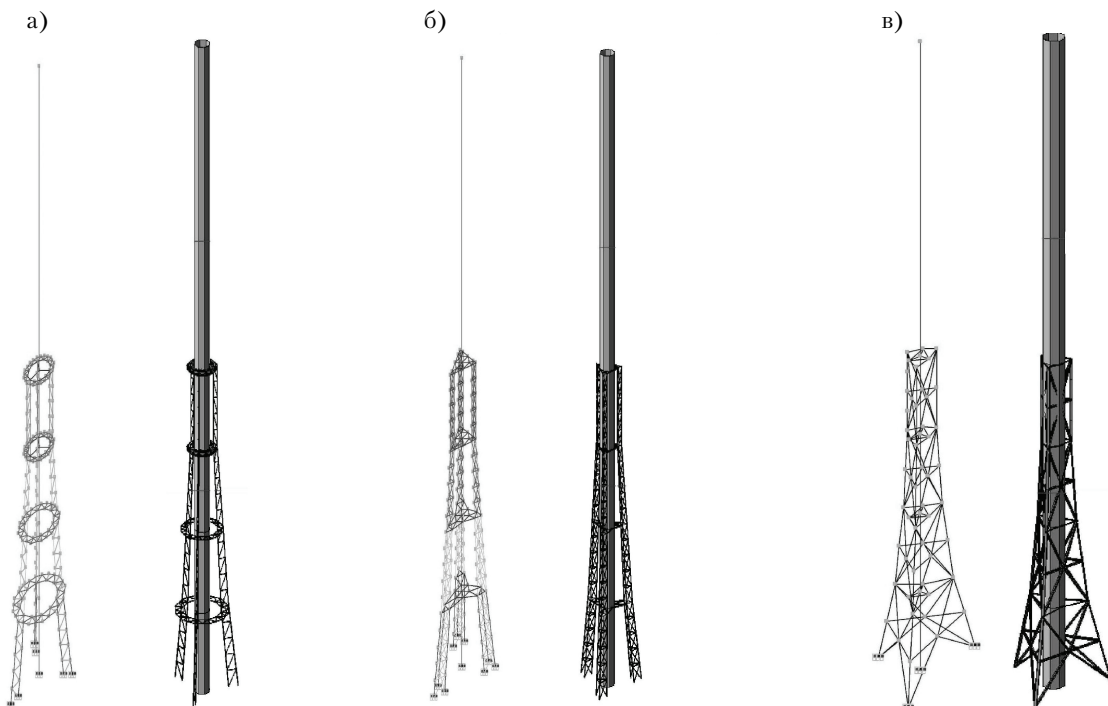


Рисунок 2. Виды конструктивных решений комбинированной системы (сложные системы).

- требует равноустойчивого в двух плоскостях сечения либо раскрепления подкосов между собой для уменьшения их расчетной длины;
- способствует свободе деформаций ствола в вертикальной плоскости.

Конструктивное решение при жестком опирании ствола требует раскрепления подкосов по вертикали для уменьшения расчетной длины подкосов.

4. Стержневые рамы со ступенчатыми наклонными подкосами.

Данное конструктивное решение при правильном подборе жесткости подкосов и кривой перелома может применяться при шарнирно-неподвижном сопряжении ствола с подкосами – может обеспечить свободу деформаций ствола по вертикали без значительного увеличения усилий – реализует эффект пружины.

5. Жесткие подкосы в виде системы плоских ферм.

Основным достоинством данного конструктивного решения является сравнительно низкая металлоемкость и архитектурная выразительность формы.

6. Жесткие подкосы в виде системы объемных ферм.

Применения данного конструктивного решения является экономически и технологически нецелесообразным.

7. Жесткие подкосы в виде решетчатых башен.

Данное конструктивное решение является наиболее разработанным в практике строитель-

ства дымовых труб и экономически одним из наименее металлоемких решений.

Результаты сопоставления различных конструктивных решений приведены в таблице 1.

Исследование влияния геометрии подкосов на НДС комбинированной системы «дымовая труба – жесткие подкосы» в целом

В качестве объекта исследования было выбрано конструктивное решение подкосов «стержневые рамы с прямыми подкосами».

1. Определение влияния угла наклона подкоса к вертикали на НДС системы.

Для определения влияния угла наклона подкоса к вертикали на НДС системы были созданы модели с углами наклона 0; 1,5; 3,8; 6,8; 9,1.

Полученные зависимости перемещений и собственных частот от угла наклона подкоса приведены на рисунке 3.

Если наложить оба графика друг на друга, получим рациональный угол наклона подкоса к вертикали, который составил около 4°.

2. Определение влияния высоты крепления подкоса на НДС системы.

Для определения влияния высоты крепления подкоса на НДС системы были созданы модели с высотами крепления подкосов 15, 20, 25, 30 м.

Полученные зависимости перемещений и собственных частот от высоты крепления подкоса приведены на рисунке 4.

Таблица 1. Сравнение конструктивных решений дымовых труб с подкосами

Стандартное констр-ное решение	3D фермы	Плоские фермы	Труба с подкосами (стержни наклонные)	Решетчатые башни	Сплошные ребра	Труба с подкосами (стержни прямые)
$\Delta X = 300$ мм	$\Delta X = 300$ мм	$\Delta X = 307$ мм	$\Delta X = 307$ мм	$\Delta X = 255$ мм	$\Delta X = 276$ мм	$\Delta X = 300$ мм
$M = 35$ т (20 т.)	$M = 50$ т	$M = 35$ т	$M = 30$ т	$M = 16$ т	$M = 7$ т	$M = 25$ т
$f = 1,2$ Гц	$f = 0,921$ Гц	$f = 0,934$ Гц	$f = 0,636$ Гц	$f = 0,937$ Гц	$f = 0,965$ Гц	$f = 0,858$ Гц

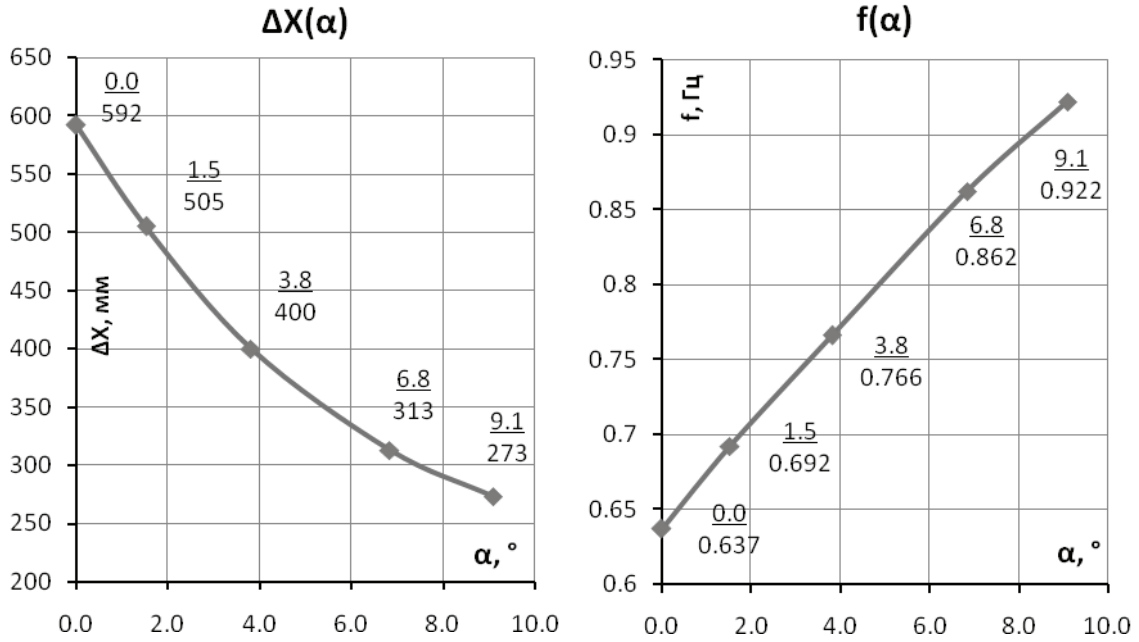


Рисунок 3. Зависимости перемещений и собственных частот от угла наклона подкоса к вертикали.

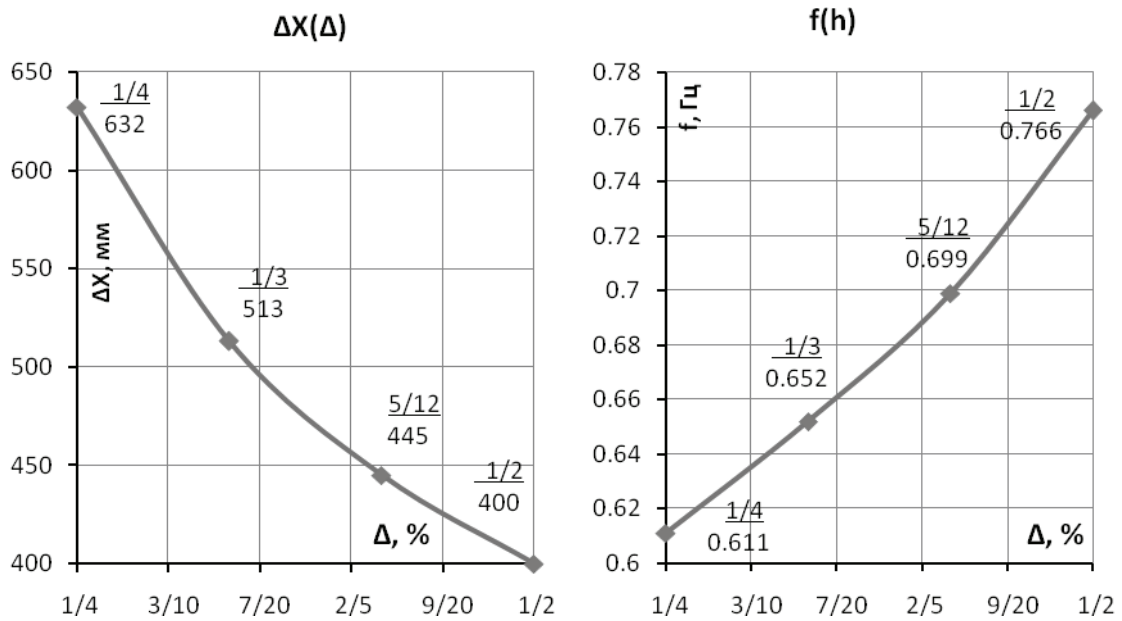


Рисунок 4. Зависимости перемещений и собственных частот от высоты крепления подкоса на НДС системы.

Если наложить оба графика друг на друга, получим рациональную высоту крепления подкоса к вертикали, которая составляет около 23 м.

Выводы:

1. Выполнен анализ существующей литературы по расчету и конструированию дымовых труб. Анализ показал:

- отсутствие классифицированной информации о конструктивных решениях дымовых труб с подкосами;
- отсутствие рекомендаций по расчету дымовых труб с жесткими подкосами с учетом особенностей работы данной комбинированной системы.

Развиты существующие конструктивные решения в виде сплошных ребер, стержневых рам и разработаны новые конструктивные решения подкосов в виде стержневых рам с переломом стержней по высоте, систем плоских и объемных ферм.

2. Выполнены численные исследования работы дымовых труб с различными конструктивными решениями подкосов.

Определено влияние различных решений подкосов на жесткость системы в целом – наибольшей жесткостью обладает комбинированная система при использовании конструктивных решений подкосов «решетчатая башня» и «слошные ребра».

3. На основании проведенного анализа работы различных конструктивных решений дымовых труб с подкосами были определены наиболее рациональные конструктивные решения подкосов:

- подкосы в виде системы сплошных ребер переменного по высоте сечения – экономия металла по сравнению с типовым решением 13 т;
- подкосы в виде поддерживающей башни ограниченной высоты – экономия металла по сравнению с типовым решением 4 т;

- подкосы в виде системы стержней, объединенных в жесткую раму – по расходу металла решение сопоставимо с типовым решением в виде трубы с конусной частью;
- подкосы в виде системы плоских ферм – по расходу металла решение сопоставимо с типовым решением.

4. Для конструктивного решения подкосов «стержневые рамы» определено влияние геометрии подкосов на НДС системы:

- получен график зависимости перемещений верха ствола от угла наклона подкосов к вертикали, что в относительных единицах составило от 1/100 до 1/250 высоты трубы для 0 и 9°;
- получен график зависимости первой частоты собственных колебаний от угла наклона подкосов к вертикали, при этом частота изменяется от 0,64 до 0,93 Гц для 0 и 9° соответственно;
- получен график зависимости перемещений верха ствола от высоты сопряжения подкосов со стволом трубы, деформации изменяются от 400 до 630 мм для высоты в относительных единицах от 1/4 до 1/2 высоты трубы соответственно;
- получен график зависимости первой частоты собственных колебаний от высоты сопряжения подкосов со стволом трубы, при этом частота изменяется от 0,61 до 0,76 Гц для высоты подкосов от 15 до 30 м соответственно.

5. В целом дымовые трубы с жесткими подкосами имеют следующие преимущества:

- низкая металлоемкость отдельных конструктивных решений по сравнению со свободностоящими трубами;
- существенно сокращены затраты на устройство фундаментов при малых углах наклона подкосов к вертикали;
- возможность применения на площадках со стесненными условиями для размещения;
- простота монтажа и обслуживания отдельных конструктивных решений.

Литература

1. Строительные нормы и правила. Сооружения промышленных предприятий : СНиП 2.09.03-85. – Взамен СНиП II-91-77, СН 302-65, СН 471-75 ; введ. 1987-01-01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
2. Строительные нормы и правила. Стальные конструкции : СНиП II-23-81*. – Взамен СНиП II-V.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 90 с.
3. Металлические конструкции. В 3 т. Т 3. Специальные конструкции и сооружения : Учебник для строит. вузов / Под редакцией В. В. Горева. – М. : Высш. шк., 1999. – 544 с. : ил.
4. Лессиг, Е. Н. Листовые металлические конструкции / Е. Н. Лессиг, А. Ф. Лилеева, А. Г. Соколов. – М. : Изд-во лит. по строит., 1970. – 488 с.
5. Солодарь, М. Б. Металлические конструкции вытяжных башен / М. Б. Солодарь, М. В. Кузнецова, Ю. С. Плишкин. – Л. : Стройиздат, 1975. – 186 с.
6. EUROCODE 3. pr EN 1993-3-2:1997 – Structural design rules for steel chimneys // B.W. Smith et al., 1997.
7. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D – GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.

References

1. Structural Rules and regulations. Construction of industrial enterprises: 2.09.03-85. Moscow: TsITP Gosstroia SSSR, 1986. 56 p. (in Russian)
2. Structural Rules and regulations. Steel structures: SNiR II-23-81*. Moscow: FGUP TsPP, 2005. 90 p. (in Russian)
3. Metal structures. In 3 vol. Vol. 3. Special structures and facilities: Textbook. Ed. V. V. Gorev. Moscow: Vyssh. Shk., 1999. 544 p. (in Russian)
4. Lessig, E. N.; Lileeva, A. F.; Sokolov, A. G. Sheet metal structures. Moscow: Izd-vo lit. po stroit., 1970. 488 p. (in Russian)
5. Solodar, M. B.; Kuznetsova, M. V.; Plishkin, Yu. S. Metal structures of stacks. Leningrad: Stroiizdat, 1975. 186 p. (in Russian)
6. EUROCODE 3. pr EN 1993-3-2:1997 – Structural design rules for steel chimneys // B.W. Smith et al., 1997.
7. Model code for concrete / Steel Chimneys Part D – GRP Liners (April 2009). – ISBN 1902998030.

Губанов Вадим Викторович – к.т.н., доцент кафедры металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій; вдосконалення методів розрахунку висотних споруд; планування експлуатаційного процесу висотних будівельних конструкцій та висотних споруд.

Голиков Олександр Володимирович – асистент кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: вдосконалення конструктивних рішень і методів розрахунку висотних споруд; вдосконалення методів розрахунку опорних вузлів і вузлів сполучення окремих конструктивних елементів металевих димарів і газовідвідних стовбурів.

Губанов Вадим Викторович – к.т.н., доцент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций; совершенствование методов расчета высотных сооружений; планирование эксплуатационного процесса высотных строительных конструкций и высотных сооружений.

Голиков Александр Владимирович – ассистент кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: совершенствование конструктивных решений и методов расчета высотных сооружений; совершенствование методов расчета опорных узлов и узлов сопряжения отдельных конструктивных элементов металлических дымовых труб и газоотводящих стволов.

Gubanov Vadim – Ph.D. (Eng.), associate professor of the department of Metal Structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operational reliability of building metal structures; improvement of the design technique for high-rise structures; operation planning for high-rise building structures and facilities.

Golikov Alexander – assistant professor of the department of Metal Structures of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of the design technique for carrying units and mating joints of separate constructive components of metal chimneys and gas-escape shafts.